



BEGUTACHTUNG – AGGREGAT HUBER – 20181002

Begutachtung zur Einschätzung der Betriebsfähigkeit eines Stromerzeugers mit Verbrennungsmotor und vorgelagerter Betriebsstofferzeugung über Versuche zur Reduktion des Primärenergiebedarfs bei gleichzeitiger Verringerung der Schadstoffemission.

Ort des Versuchsaufbaus und Datum der Versuchsreihe:
83346 Bergen, 02.10.2018

ANWESENDE

Falk Atmanspacher, Dipl.-Ing. Elektrotechnik, IT-Fachmann Software
Andy J. Ehrnsberger, Dipl.-Ing., Management, PR, Vorsitz Energienovum e. V.
Hermann Huber, Anlagenentwickler, Anlagenbetreiber, Unternehmer
Anton Magold, Dipl.-Betriebswirt, Vertrieb, IT-Fachmann Hardware
Thorsten Müller, KFZ-Meister, Motorenspezialist, Physikalische Chemie

GERÄTE, MATERIAL, BAUTEILE

Vorhanden ist ein Anlagenaufbau, konzipiert, erbaut und betrieben von Herrn Huber, bestehend aus den Hauptkomponenten A. Stromerzeuger mit Verbrennungsmotor und Stromgenerator sowie B. vorgelagertem Betriebsstofferzeuger mit Elektrolyseur-Stacks und vorgeschalteten Netzteilen.

Details zu A. Stromerzeuger

Hersteller, Typbezeichnung: FAS ENERGOMASH Natural-gas/ Propane-Power-Generator (St. Petersburg)
4-Zyl Benzinmotor, Gasumbau (werkseitig)
Hubraum: 1.500 ccm
U/min: bis 2.500
Leistung: 70 PS
Generatorauslegung: 15 kW im Dauerbetrieb

Details zu B. Betriebsstofferzeuger 1 a. – Primärer Elektrolyseur

Netzteil: Schweißtrafo
Elektrolyseur-Stack (Typ, Konfiguration): Nasszellen-Elektrolyseur-Stack für alkalische Mischgasproduktion (Wasserstoff, Sauerstoff) +nnnnn-nnnnn+nnnnn-nnnnn+nnnnn-
KOH-Konzentration: 40 bis 50 Prozent
Auslegung Elektrisch: 14V, 80A
Auslegung Gas: *keine Angabe* l/ m
Reinheit Gas: Oxyhydrogen



Details zu B. Betriebsstofferzeuger 1 b. – Zuschaltbarer Elektrolyseur

Netzteil: Labornetzteil HBS Elektronik – ACS Power Source

Elektrolyseur-Stack: Nasszellen-Elektrolyseur-Stack für alkalische Trenngasproduktion (Wasserstoff, Sauerstoff)

KOH-Konzentration: *keine Angabe* %

Auslegung Elektrisch: *keine Angabe* V, A

Auslegung Gas: *keine Angabe* l/ min.

Reinheit Gas: Wasserstoff 80% (vom Anlagenbetreiber geschätzt; Reihungsgrad unbekannt)

Details zu B. Betriebsstofferzeuger 2 – Zerstäuber

Wasserzerstäuber (Feinheit: 3 - 25 µm) mit vorgelagerter Hochdruckpumpe (elektrisch)

Fördermenge: 50 ml/ min.

(Details zu B. Betriebsstofferzeuger 3 – Abgasrückführung)

Zuschaltbare, ca. 50%ige Abgasrückführung

Weitere Bauteile

Catchtank, Gaswäscher, Leitung für Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch für Zylinderweise Gaszuführung (Betriebsstofferzeuger 1a), Leitung für Wasserstoff (unbekannten Reinheitsgrads) für Gaszuführung über Ansaugrohr (Betriebsstofferzeuger 1b), Flashback-Arrestor, Verbraucher (Heizgebläse 9 kW, 22 kW)

MESSGERÄTE

Bosch Abgasprüfung:

Software: BEA-PC DE V3.0-10.2017

Abgas: BEA V2.02-Mobil 38710554 / AMM 000-B6 F54B

Kaleas Thermo-Hygro-Meter MD-11

Lufttemperatur:

Messbereich: -20...+60°C

Auflösung: 0,1°C

Genauigkeit: ±1°C (0...+40°C) | ±2°C

Relative Luftfeuchte:

Messbereich: 0 ... 100%

Auflösung: 0,1%

Genauigkeit: ±3,5% (20...80%) | ±5%

Messzeit: <15s (90% des Endwerts)

Zul. Umgebungsbedingungen: 0 ... +50°C | 0 ... 80% RH

Digital-Thermometer PL-120 T2 SE

Messbereich: -200 ... +1372°C

Auflösung: 0,1%

Genauigkeit: ±3,0%

Strommessgeräte

REV Energiemessgerät

Uni-t Ut210e True Rms Strommesszange

Spannungsmessgerät

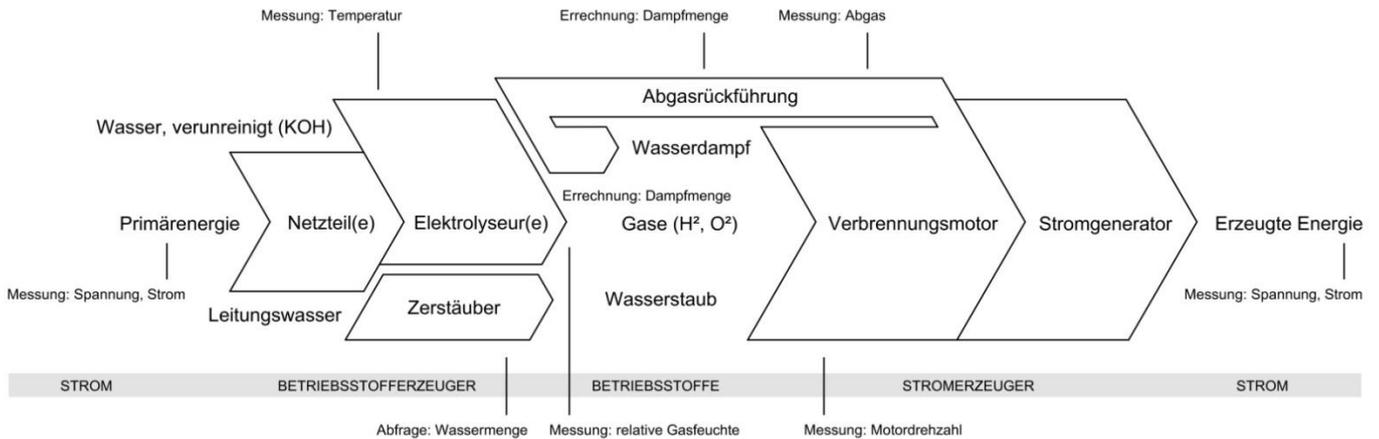
Unitec DM250 Digital-Multimeter

Drehzahlmesser

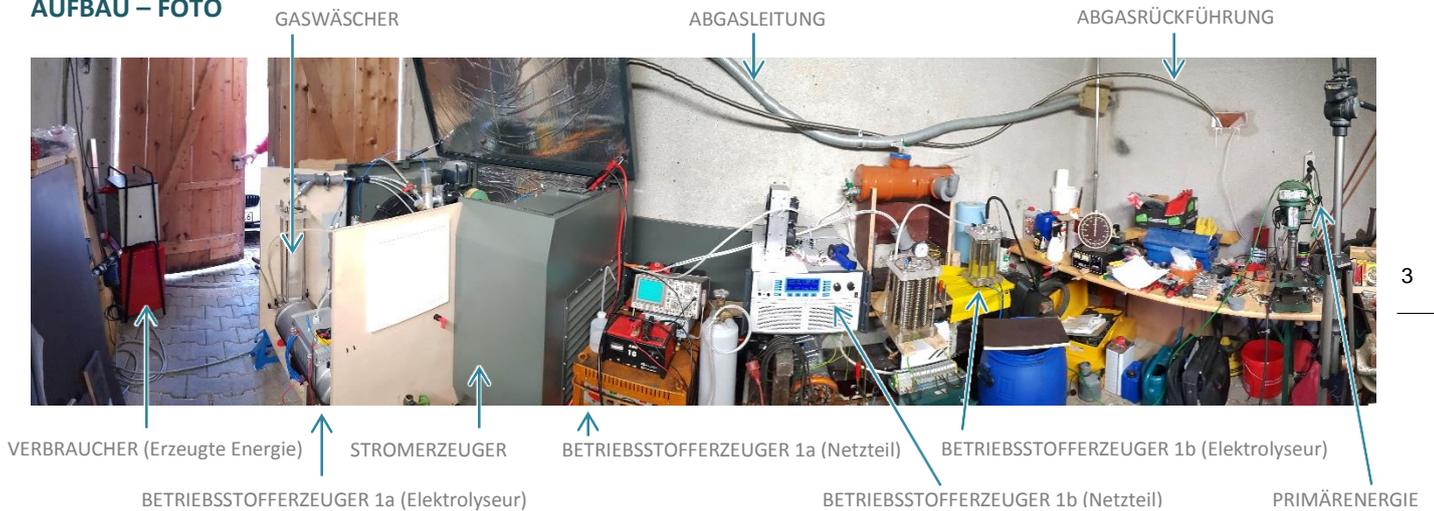
Integriertes Multimeter DATACOM D200 Genset Controller



ANLAGENAUFBAU – FLUSSDIAGRAMM (mit Informationen vom Anlagenbetreiber)



AUFBAU – FOTO



3

FRAGESTELLUNGEN

- Ist es möglich, den Verbrennungsmotor des vorliegenden Stromerzeugers mit den laut Angabe des Anlagenbetreibers erzeugten und bereitgestellten Betriebsstoffen Wasserstoff-Sauerstoffgemisch und Wasserdampf zu betreiben?
- Wie hoch sind der Primärenergiebedarf und der Wirkungsgrad der Anlage?

DURCHFÜHRUNG

Betriebsstoffherzeuger 1a – Schweißnetzteil und Elektrolyseur-Stack: An. Betriebsstoffherzeuger 1a beschickt die einzelnen Zylinder mit Oxyhydrogen.

Betriebsstoffherzeuger 1b – Labornetzteil und Elektrolyseur-Stack: Bei Bedarf An. Betriebsstoffherzeuger 1b beschickt den Ansaugtrakt mit Wasserstoff unbekanntem Reinheitsgrades.

Betriebsstoffherzeuger 2 – Hochdruckpumpe für Wasserzerstäuber: An. Betriebsstoffherzeuger 2 beschickt den Ansaugtrakt mit zerstäubtem Wasser (geplant, nicht durchgeführt)

Betriebsstoffherzeuger 3 – Abgasrückführung: An, unklare Einregelung per Hand durch den Anlagenbetreiber.

Betriebsstoffherzeuger 3 beschickt den Ansaugtrakt mit Abgas.

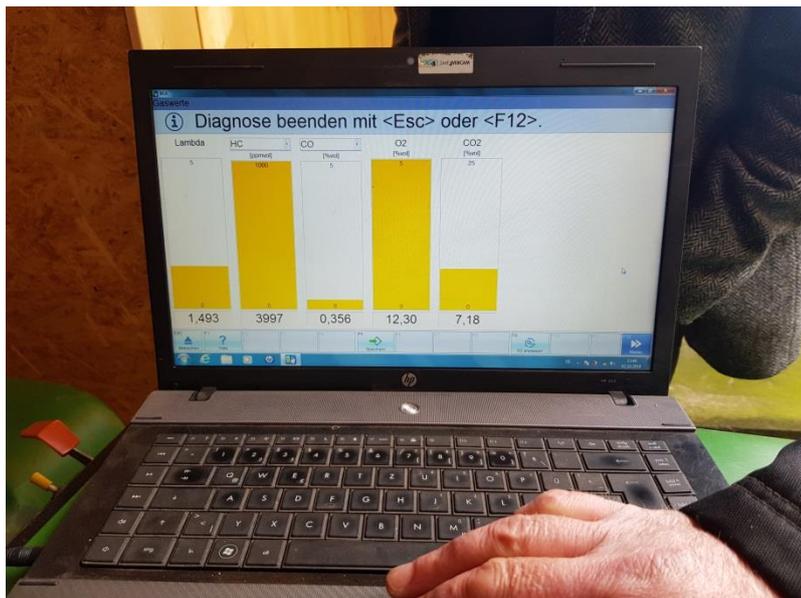


Für jeden Start erforderlich: Einspritzung von Felgenreinigerlösung per Hand durch den Anlagenbetreiber. Es sind mehrere Versuche zu erwarten. Die Abnahme der Strom-, Spannungs- und Drehzahlmessungen erfolgt durch den Anwesenden Ehrnsberger. Die Abgasmessung erfolgt durch den Anwesenden Müller.

BEOBACHTUNGEN, MESSWERTE, AUSWERTUNG

Versuch 1 – Start des Stromerzeugers um 13:40:00. Betriebsdauer ca. 12 Minuten.

Abgasmessung 13:46:13: HC = 3.997 ppmvol. CO₂ = 7,18 %vol.



Abgasmessung 13:46:13

Die Abgaswerte weichen deutlich von den (auf Basis der angeblich zugeführten Betriebsstoffe) zu erwartenden Werten ab. Die Werte HC und CO₂ müssten in Folge des behaupteten zugeführten Brennstoffs erwartungsgemäß bei 0,00 %vol liegen. Zudem wurde von den Anwesenden Atmanspacher, Ehrnsberger, Magold und Müller im Abgas deutlich der Geruch verbrannter Kohlenwasserstoffe wahrgenommen (ähnlich Abgas Benzinmotor). Der gesamte Sachverhalt stellt eine erhebliche Irritation dar, was Leistungsmessungen u. a. am Generatorausgang vorerst als irrelevant erscheinen ließ. Aufgrund der angezeigten Werte und des wahrgenommenen Geruchs wurde ein neuer Versuch gestartet – mit veränderten Rahmenbedingungen.

Versuch 2 – Start des Stromerzeugers um 13:55:55. Betriebsdauer ca. 8 Minuten.

Zuschaltung von Betriebsstoffherzeuger 1b. Durch die Zuschaltung wurde weder eine Veränderung am Motorverhalten, noch eine relevante Veränderung der Messwerte und des Abgasgeruchs beobachtet.

Versuch 3 – Start des Stromerzeugers um 14:27:07. Betriebsdauer ca. 8 Minuten.

Aufgrund der angezeigten und weiterhin unerwartet hohen signifikanten Abgaswerte wurde der Motor genauer untersucht. Es wurde versucht, Ursachen für die hohen Abgaswerte zu finden und diese Ursachen zu beseitigen. Für Versuch 3 wurde deshalb der Kunststoffschlauch der Kurbelgehäuseentlüftung vom Motor abgeklemmt. Dadurch sollte ausgeschlossen werden, dass über die Kurbelgehäuseentlüftung mitgeführtes Motorenöl (Kohlenwasserstoff) dem Verbrennungsprozess zugeführt werden konnte, obgleich bereits hier zu erwarten war, dass der geringfügige Anteil an Motoröl keinen ausschlaggebenden Effekt auf die Reduzierung der signifikanten Abgaswerte haben würde.



- 14:28:27 – Messung Primärenergie (Ampere Schuko-Wandanschlussbuchse): 13,51 Ampere bei 230 Volt
- 14:28:36 – Messung Eingang Elektrolyseur (Ampere, Messzange): 79,2 Ampere
- 14:28:38 – Messung Eingang Elektrolyseur (Volt, Multimeter): 13,52 Volt
- 14:30:08 – Drehzahlabnahme: 1.483 UpM
- 14:30:29 – Abgasmessung: HC = 4.230 ppmvol. CO2 = 5,39 %vol.



Ampere-Messung 14:28:27



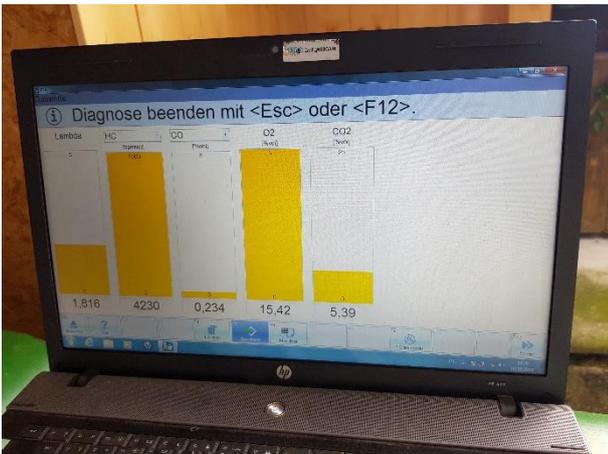
Ampere-Messung 14:28:36



Volt-Messung 14:28:38



Drehzahlmessung 14:30:08



Abgasmessung 14:30:29

Primärenergiebedarf:

Ausgangsleistung Schuko-Wandbuchse, Eingangsleistung Schweißnetzteil: $13,51 \text{ Ampere bei } 230 \text{ Volt} = 3.107 \text{ Watt}$
 Ausgangsleistung Schweißnetzteil, Eingangsleistung Elektrolyseur-1a: $79,2 \text{ Ampere bei } 13,52 \text{ Volt} = 1.071 \text{ Watt}$



Das Abklemmen des dem Verbrennungsvorgang über die Kurbelgehäuseentlüftung einträglichen Motoröls brachte keine Verbesserung des HC-Werts. Dieser Wert lag im Vergleich zu Versuch 1 sogar um 233 ppmvol höher. Lediglich der CO₂-Wert lag bei Versuch 3 mit 5,39 %vol um 1,79 %vol niedriger als bei Versuch 1.

Die beiden signifikanten Abgaswerte liegen weiterhin deutlich über den bei Verwendung wasserbasierter Betriebsstoffe zu erwartenden Werten, da diese sich theoretisch gegen null bewegen müssten.

Versuch 4 – Start des Stromerzeugers um 15:08:00. Betriebsdauer ca. zwei Sekunden.

Da bei Versuch 3 trotz Abklemmen der Kurbelgehäuseentlüftung weiterhin die signifikanten Abgaswerte zu hoch waren, wurde der Motor abermals genauer untersucht.

Die Bedeutung einer orangefarbenen Schlauchleitung wurde nun beim Anlagenbetreiber erfragt.

Antwort des Anlagenbetreibers: Die orangefarbene Schlauchleitung liegt zwischen werkseitigem Druckminderer UND Ansaugtrakt. Ursprünglich transportiert diese Leitung Propangas in den Ansaugtrakt. Heute gelangt über diese Leitung primär Umgebungsluft in den Ansaugtrakt. Zudem gelangt über diese Leitung bei Bedarf versuchsweise zugeschalteter Elektrolyseur-1b-Wasserstoff (lt. Anlagenbetreiber ca. 80% rein) in den Ansaugtrakt.

Neben dem Anschluss der orangefarbenen Schlauchleitung am Ansaugtrakt liegt ein Luftfilter, über den ebenfalls Umgebungsluft in den Ansaugtrakt gelangt. Zudem wird bei jedem Motorstart über das kurzzeitige Entfernen des Luftfilters über die so entstehende Öffnung der für den Motorstart benötigte Felgenreiniger zugeführt.

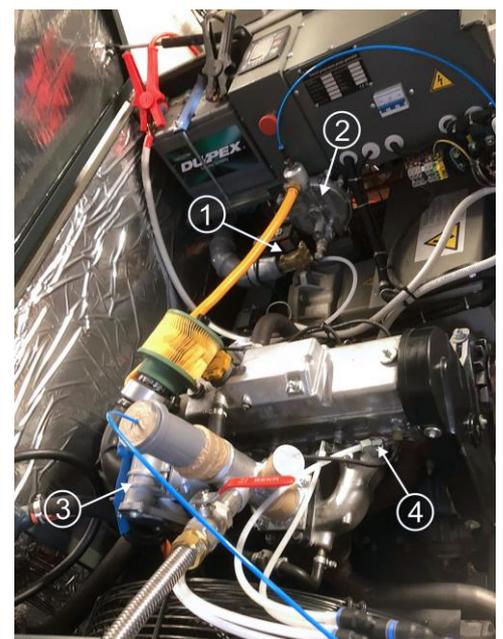
Da Betriebsstoffherzeuger 1b ohnehin meistens ausgeschaltet ist, stellt sich die Frage nach der Demontage der orangefarbenen Schlauchleitung, deren Bedeutung auch deshalb marginal sein dürfte, da sich der Motor die benötigte Umgebungsluft ohnehin problemlos über den Luftfilter holt.

Die Demontage der orangefarbenen Schlauchleitung wurde vom Anlagenbetreiber mit folgender Begründung als problematisch dargestellt: Die Motorsteuerung registriert über die Einheit Magnetventil-Druckminderer die Demontage der Leitung, wodurch ein Motorstart erschwert wird bzw. kaum mehr möglich ist.

Die gegebene Begründung überzeugt die Anwesenden nicht:

Die Werksseitig für Propangasbetrieb vorhandenen Bauteile wie ① Magnetventil, ② Verdampfer/ Druckminderer und ③ Drosselklappensteller sind für den Betrieb bei angeblich vorliegender primärer ④ Zuführung von Wasserstoff/ Sauerstoff im Bereich des Saugrohres überflüssig bzw. ermöglichen keine lastabhängige Drehzahlregulierung. Der Generator benötigt jedoch eine stabile Drehzahl von 1.500 U/min um 50 Hz liefern zu können. Dies wird bei Propangasbetrieb über das Motorsteuergerät wie folgt gewährleistet:

Der Kurbelwellensensor übermittelt dem Motorsteuergerät die Drehzahl. In Abhängigkeit der Drehzahl wird automatisch die Stellung der Drosselklappe verändert, um den Massendurchfluss an Luft zu regulieren:
Drehzahl <1.500U/min -> Öffnungswinkel wird vergrößert;
Drehzahl >1.500U/min -> Öffnungswinkel wird verringert. In Abhängigkeit des Öffnungswinkels der Drosselklappe wird der Massendurchfluss an Propangas über das Magnetventil gesteuert. Durch den so regulierten Massendurchfluss des Luft-Brennstoffgemischs wird gewährleistet, dass auch bei Laständerungen immer eine stabile Drehzahl von 1.500 U/min vorliegt.



Eine Drehzahlregulierung bei H₂-Betrieb kann nur über eine regelbare Zufuhr des Wasserstoffs erfolgen, welche am Versuchsmotor nicht vorhanden war. Die Leistungsaufnahme der Elektrolysezelle war, unabhängig von angeschlossenen Lasten am Generator, gleichbleibend. Es ist jedoch physikalisch unmöglich, dass bei gleichbleibender



Massenzufuhr an Wasserstoff eine stabile Drehzahl bei unterschiedlichen Lasten am Generator erzielt werden kann. Das Abklemmen der orangefarbenen Schlauchleitung ändert nichts an der Funktion der Drosselklappe. Eine etwaig andere Motorsteuerung hat hier keinen Einfluss, auch nicht auf die Zündung. Die orangefarbene Leitung wurde abgeklemmt. Der Anwesende Ehrnsberger nahm im weiteren Verlauf im Versuchsraum Gasgeruch wahr.

Startversuch: Von der Startelektronik unabhängiger Anlasserschalter wurde vom Anlagenbetreiber betätigt. Anlasser ließ sich starten. Gleichzeitig wurde vom Anlagenbetreiber Felgenreinigerlösung in den Luftansaugtrakt gespritzt. Stromerzeuger wurde erfolgreich für ca. 2 Sekunden mit Felgenreinigerlösung betrieben. Motor des Stromerzeugers wies jedoch im Anschluss keinen weiteren Betrieb auf.

Der Motor ließ sich nicht starten.

Durch den Gaswäscher strömte in dieser Zeit nur ein Bruchteil des Gases der vorherigen Versuche, was die Frage nach einer Ursache aufwirft. Ursächlich hierfür kann sein, dass der Elektrolyseur per Zufall in diesem Moment außer Funktion geraten ist – z. B. per Kurzschluss. Ursächlich kann auch die blaue Gasleitung zwischen Druckminderer und Elektrolyseur sein (siehe Abschnitt Fehleranalyse/ a.).

Versuch 5 – Start des Stromerzeugers um 15:11:00. Betriebsdauer ca. zwei Sekunden.

Orangefarbene Schlauchleitung aus genannten Gründen weiterhin abgeklemmt bzw. von Verbrennung ausgeschlossen.

Startversuch: Von der Startelektronik unabhängiger Anlasserschalter wurde vom Anlagenbetreiber betätigt. Anlasser ließ sich starten. Gleichzeitig wurde vom Anlagenbetreiber Felgenreinigerlösung in den Luftansaugtrakt gespritzt. Stromerzeuger wurde erfolgreich für ca. 2 Sekunden mit Felgenreinigerlösung betrieben. Motor des Stromerzeugers wies jedoch im Anschluss keinen weiteren Betrieb auf.

Der Motor ließ sich nicht starten. Durch den Gaswäscher strömte in dieser Zeit ebenfalls kaum Gas.

7

Weitere Beobachtungen und Auswertung

Unübersichtlicher Aufbau. Uneindeutige Leitungsführung. Stromerzeuger mit Verbrennungsmotor und Generator nur an Vorderseite zugänglich. Stromerzeuger an beiden Seiten zugestellt und damit hier nicht zugänglich. Unzugängliche Stellen vor allem am rechten unteren Rückwand- und Seitenwandbereich des Stromerzeugers.

Die im unzugänglichen hinteren rechten Bereich des Stromerzeugers liegende Zuleitung zur Einheit Magnetventil-Druckminderer, von der aus die orangefarbene Schlauchleitung zum Ansaugtrakt führt, ist nicht einzusehen, da diese Zuleitung durch ein nachträglich zugefügtes, graues Kunststoffrohr ummantelt ist. Drei von außen kommende Leitungen durchdringen die Hülle des Stromerzeugers auf der Höhe, auf der das graue Kunststoffrohr innerhalb des Stromerzeugers liegt.

Es handelt sich um folgende drei Leitungen: Eine Wasserstoffleitung ausgehend vom Betriebsstoffherzeuger 1b, eine nicht angeschlossene, verschlossene Wasserstoffleitung (für optionalen, dritten Betriebsstoffherzeuger) und eine nicht angeschlossene, verschlossene Anschlussleitung für Propangasflaschen.

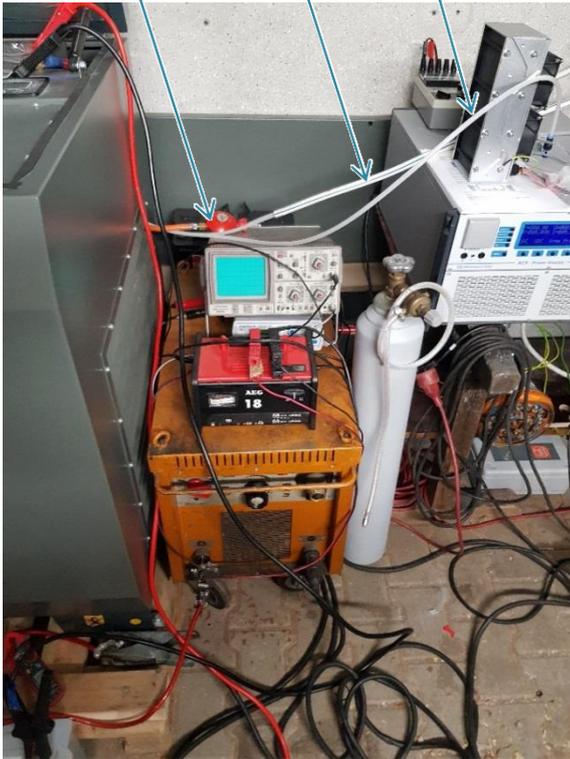
Aus dem Kunststoffrohr heraus führen allerdings nicht zwei sondern nur eine Wasserstoffleitung. An anderer Stelle ist die zweite Wasserstoffleitung nicht zu entdecken.



WASSERSTOFFLEITUNG EINS:
VON BETRIEBSTOFFERZEUGER 1b

GASLEITUNG
UNBESETZT

WASSERSTOFFLEITUNG ZWEI:
UNBESETZT



Stromerzeuger – 3 hineinführende Leitungen



Detail Leitungsdurchführung

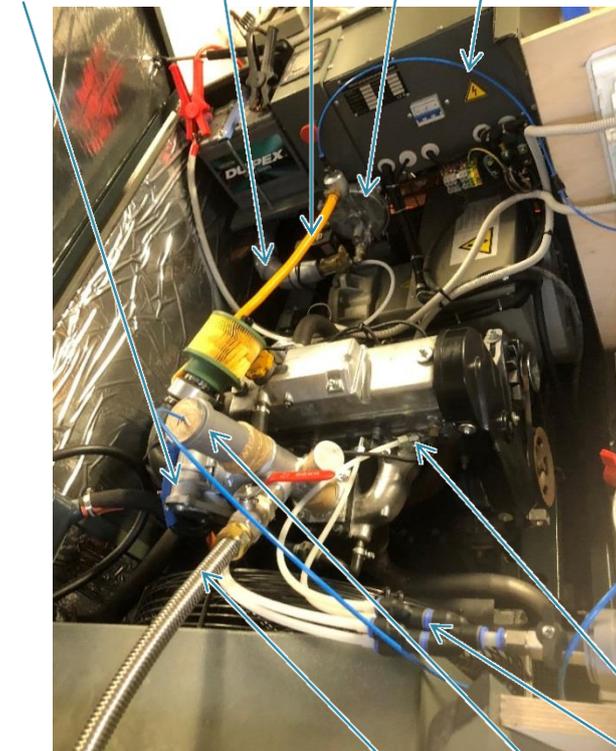
AB VERSUCH 4 ABGEKLEMMTE
SCHLAUCHLEITUNG

GRAUES KUNSTSTOFFROHR

ANSAUGTRAKT
mit ERWEITERUNG

EINHEIT DRUCKMINDERER-MAGNETVENTIL

BLAUE GASLEITUNG zwischen
DRUCKMINDERER und
BETRIEBSTOFFERZEUGER 1a



Innenansicht Stromerzeuger

EINHEIT DRUCKMINDERER-MAGNETVENTIL

AB VERSUCH 4 ABGEKLEMMTE
SCHLAUCHLEITUNG

GRAUES KUNSTSTOFFROHR
INHALT?

EINE WASSERSTOFFLEITUNG
(ZWEITE WASSERSTOFF-
LEITUNG WO?)



Innenansicht Stromerzeuger – Detail Druckminderer

ZUFÜHRUNG ABGAS

ZUFÜHRUNG
ZERSTÄUBER
(nicht in Betrieb)

ZYLINDERWEISE
ZUFÜHRUNG von
WASSERSTOFF/ OXYHYDROGEN



Des Weiteren ist nicht einsehbar, ob die von außen kommende Propangasleitung fest mit der Einheit Magnetventil-Druckminderer verbunden ist oder ob sie bloß im grauen Kunststoffrohr ohne Sinn und Zweck endet. Andernorts innerhalb des Stromerzeugers ist die von außen kommende Leitung nicht ersichtlich.

Nicht zu erkennen ist außerdem, ob innerhalb des grauen Kunststoffrohrs eine zusätzliche Gasleitung über ein weiteres Verzweigungselement angeschlossen ist. Diese zusätzliche Gasleitung kann dem Verbrennungsprozess über den nicht einsehbaren weil zugestellten hinteren rechten Bereich des Stromerzeugers Kohlenwasserstoffgas (z. B. von außerhalb des Versuchsraums) zuführen. Der Durchmesser des grauen Kunststoffrohrs ist um ein Vielfaches größer, als der Durchmesser der offensichtlich durchgeführten drei Schlauchleitungen, wodurch es möglich ist, innerhalb des grauen Kunststoffrohrs zusätzliche Bauteile wie beispielsweise Verzweigungselemente und zusätzliche Leitungen unterzubringen.



Zugestellter, verdeckter Bereich hinten, rechts



Stromerzeuger, Ansicht von vorne

BLAUE GASLEITUNG zwischen DRUCKMINDERER und BETRIEBSSTOFFERZEUGER 1a

Die orangefarbene Schlauchleitung und die mit ihr in Verbindung stehenden nicht einsehbaren Bereiche stellen bei dem vorliegenden Versuchsaufbau eine Möglichkeit dar, dem Verbrennungsprozess im Motor das per Messung nachgewiesene und im Folgeabschnitt per Gleichungen bewiesene Kohlenwasserstoffgas zuzuführen. Nach dem Entfernen der Orangefarbenen Leitung war ein Betrieb des Motors nicht mehr möglich.



RESULTAT

Antwort zu Fragestellung A:

Wasserstoff H_2 wird bei Verbrennung mit Luft in Wasser H_2O umgesetzt. Die Bruttoreaktion lautet:



Damit überhaupt eine Verbrennung stattfinden kann, muss die Konzentration an Wasserstoff mindestens 4 Vol.-% betragen[1]. Gemische mit geringeren Konzentrationen ermöglichen unabhängig der aufgewendeten Zündenergie kein Zustandekommen einer Kettenreaktion.

Exemplarische Wasserstoffkonzentration bei Versuch 3.

Die durch Elektrolyse theoretisch maximal abgeschiedene Stoffmenge an H_2 nach dem Faraday'schen Gesetz beträgt[2]:

$$V_{H_2} = \frac{I \times t \times R \times T}{z \times F \times p} \times N = \frac{79,2A \times 60s \times 8,314 \frac{J}{Kmol} \times 273,15K}{2 \times 96.485C \times 101.325Pa} \times 25 = 0,0138m^3 = 13,8 \frac{l}{min}$$

Der Wirkungsgrad η nach Faraday industrieller Anlagen bei optimaler Betriebstemperatur und Elektrolyt-konzentration beträgt $\approx 0,6$ und der von guten Kleinelektrolyseuren $\approx 0,4-0,5$. Bei starken Elektrolyten wie Kaliumhydroxid (KOH) ist die molare Leitfähigkeit zwar nur schwach von der Konzentration abhängig, nimmt jedoch langsam ab, wenn die Konzentration erhöht wird[3]. Da nach Aussage des Anlagenbetreibers der Elektrolyseur 1a mit einer 50%igen KOH-Lösung betrieben wurde, kann davon ausgegangen werden, dass der Faraday'sche Wirkungsgrad überschlagsmäßig zwischen $\eta=0,2$ und $0,4$ lag[3], was einer Literleistung von

$$V_{H_2} \times \eta = 13,8 \frac{l}{min} \times 0,2 = 2,76 \frac{l}{min}$$

bis

$$V_{H_2} \times \eta = 13,8 \frac{l}{min} \times 0,4 = 5,52 \frac{l}{min}$$

Wasserstoff entspricht.

Das in Versuch 3. zugeführte Luftvolumen betrug:

$$V_{luft} = \frac{n}{2} V_H = \frac{1.483 \frac{U}{min}}{2} \times 1,5l = 1.112,25 \frac{l}{min}$$

Daraus folgt eine maximale Konzentration an Wasserstoff in Höhe von:

$$\frac{V_{H_2}}{V_{luft}} = \frac{5,52 \frac{l}{min}}{1.112,25 \frac{l}{min}} = 0,5\%$$

Ein Gemisch mit so geringer Wasserstoffkonzentration ist nicht brennbar, ein Motorlauf somit ausgeschlossen, wie es Versuche 4. und 5. belegen.

Ursache für die Messung von HC, CO und CO₂:

Bei vollständiger Verbrennung werden Kohlenwasserstoffverbindungen C_xH_y in Kohlendioxid CO₂ und Wasser H₂O umgesetzt. Die Bruttoreaktionsgleichung lautet[4]:



Die Anteile an CO und CO₂ stehen in Korrelation zum Luftverhältnis λ . Bei Luftmangel $\lambda < 1$ steigt der Anteil an CO und HC, bei Luftüberschuss $\lambda > 1$ sinkt der Anteil an HC sowie CO und CO₂ steigt an[5]. Dieses Verhältnis kehrt sich um je weiter der Zündzeitpunkt Richtung OT verschoben wird, weil dies zu einer geringeren Abbrandgeschwindigkeit, unvollständiger Verbrennung und erhöhter Abgastemperatur führt.



Die signifikanten Messwerte an HC, CO und CO₂ belegen zweifelsfrei, dass der Verbrennungsmotor mit fossilem Brennstoff betrieben wurde. Die Verhältnisse der gemessenen Schadstoffe im Abgas weisen zudem deutlich auf ein schlechtes Motormanagement hin.

Ein weiterer eindeutiger Beleg dafür, dass der Versuchsmotor mit fossilem Brennstoff betrieben wurde ist der hohe Lambdawert. Das über die Elektrolyse im stöchiometrischen Verhältnis zugeführte Wasserstoff-Sauerstoffgemisch oxidiert nicht zu H₂O. Der Wasserstoff bindet sich aufgrund der thermischen Bedingungen durch Cracken mit den Kohlenwasserstoffketten. Die über Elektrolyse zugeführte Masse an Sauerstoff kann aufgrund des in der Luft im ausreichenden Maß vorhandenen Sauerstoffs nicht exotherm verwertet werden. Der dadurch im Abgas vorhandene reine Sauerstoff wiederum wird vom Abgasmessgerät als überschüssige Luftmasse interpretiert, was zu dem hohen Lambdawert führt.

Anmerkung zur selektiven Wassereinspritzung:

Während der Versuche fand keine Wassereinspritzung statt. Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass eine Wassereinspritzung allein, unabhängig vom zugeführten Brennstoff, zu keiner Effizienz- oder Leistungssteigerung führt. Die Verdampfung des Wassers findet während der Kompression statt und erfordert exakt die Energie, welche durch die Expansionsphase zurückgewonnen wird. Eine relevante Freisetzung von H₂ durch Thermolyse findet selbst bei den kurzzeitig erreichten Spitzentemperaturen von 2.400°C nicht statt.[6]

[1] „Wasserstoff als Energieträger“, Prof. Dr.-Ing. C.-Jochen Winter, Dr.-Ing. Joachim Nitsch, ISBN 978-3-642-97885-2

[2] Energienovum, Gemeinnützige Initiative e. V.

[3] <https://doi.org/10.5446/15231>

[4] „Verbrennungsmotoren“, Prof. Dr. Ing. Uwe Todsen, ISBN 978-3-446-41843-1

[5] „Chemie für Ingenieure“, Guido Kickelbick, ISBN 978-3-8273-7267-3

[6] „Lehrbuch der Anorganischen Chemie“ 101. Auflage, Prof. Dr. Nils Wiberg, ISBN 978-3-110-12641-9

Antwort zu Fragestellung B:

Bereits im Vorfeld einer optionalen Zuführung von Wasserstoff durch Elektrolyse besteht eine systeminterne Verlustleistung per Schweißnetzteil in Höhe von 2.036 Watt (3.107 Watt – 1.071 Watt). Von einer Gesamtbilanzierung kann jedoch aufgrund der versteckten Zuführung fossilen Brennstoffs abgesehen werden (siehe auch Fehleranalyse/ d.).

FEHLERANALYSE

a.) Option: Nicht adäquate Flüssigkeit im Gaswäscher.

Im Normalfall ist der Gaswäscher befüllt mit destilliertem Wasser. Wenn ein Gaswäscher mit Kohlenwasserstoff (z. B. Bio-Ethanol) befüllt ist, führt dies zu verfälschten Ergebnissen, da hierdurch Kohlenwasserstoffe mit in den Brennraum gelangen. Dies konnte ausgeschlossen werden, da der Gaswäscher vor allen Anwesenden geleert und mit frischem Destilliertem Wasser befüllt wurde, das aus einer ladenfrischen, unverschlossenen Flasche kam. Das abgelassene Wasser des Gaswäschers roch allerdings stark nach Kohlenwasserstoffen, was durch alle Anwesenden bestätigt wurde – für einen Teil der Anwesenden hatte es einen petroleumartigen Geruch, für einen anderen Teil hatte es einen Geruch wie ein Gemisch aus Benzin und Wasser. Woher dieser Geruch stammte, konnte vorerst nicht ermittelt werden. Allerdings zeigt der Geruch eindeutig, dass Kohlenwasserstoffgas hindurchgeleitet wurde. Tatsächlich existiert eine Systemkomponente, welche die Durchleitung von Kohlenwasserstoffgas möglich macht, nämlich eine blaue Gasleitung zwischen Druckminderer und Betriebsstofferzeuger 1b. Innerhalb von Betriebsstofferzeuger 1b ist es konstruktionsbedingt allerdings nicht einsehbar, wo die blaue Leitung endet. Im Elektrolyseur dürfte sie allerdings nur dann enden, wenn nicht Propangas vom Druckminderer zum Elektrolyseur, sondern Wasserstoff bzw. Oxyhydrogen (Wasserstoff-



Sauerstoffgemisch) vom Elektrolyseur zum Druckminderer fließen würde. Die Möglichkeit, Wasserstoff bzw. Oxyhydrogen vom Elektrolyseur zum Druckminderer fließen zu lassen, könnte als Rechtfertigung für die blaue Leitung dienen, um ihren tatsächlichen Grund zu verschleiern. Auch die Option, dass durch die blaue Gasleitung Propangas vom Druckminderer aus durch den Gaswäscher geleitet wurde, muss dabei berücksichtigt werden. Dies würde folgende Faktoren erklären: 1.) Den stark vorhandenen Geruch nach Kohlenwasserstoffen des normalerweise und laut Angabe des Anlagenbetreibers lediglich zur Durchleitung von geruchslosem Wasserstoff bzw. Oxyhydrogen bestimmte, im Gaswäscher befindlichen destillierten Wassers. Auch das vor der Versuchsreihe frisch zugeführte destillierte Wasser roch nach den Versuchen wiederum nach Kohlenwasserstoffen, was zeigt, dass während der Versuche fossiles Gas hindurchgeführt wurde. 2.) Die kaum mehr vorhandene Gasaktivität im Gaswäscher, nachdem die orangefarbene Schlauchleitung abgeklemmt wurde, da die Zufuhr von Kohlenwasserstoffgas bzw. Propangas durch den Anlagenbetreiber aus Sicherheitsgründen abgeriegelt wurde, um ein Einströmen des Propans in den Versuchsraum aufgrund der automatischen Öffnung des Magnetventils zu vermeiden, weil das Ende der orangefarbenen Schlauchleitung nun offen in den Versuchsraum ragte. Die Durchleitung von Propangas durch die blaue Gasleitung und im Anschluss durch den Gaswäscher hätte demnach den Effekt, ein Funktionieren des Elektrolyseurs vorzutäuschen und anstelle des angegebenen Wasserstoffs Propangas zum Motorbetrieb zu verwenden.

b.) **Option: Beschickung des Gesamtsystems mit einer zusätzlichen, nicht erwähnten Energiequelle.**

Dies würde die Ergebnisse verfälschen. Aus diesem Grund hat ein Teil der Anwesenden nach zusätzlichen, zuvor nicht erwähnten Energiequellen gesucht. Die Suche schloss aus den Wänden und dem Boden kommende Leitungen ein, die an versteckter Stelle mit dem System verbunden sein konnten. Auch nach zusätzlichen Kraftstoffbehältern und Gasflaschen wurde gesucht. Stromleitungen wurden nicht gefunden. Wie unter „Weitere Beobachtungen und Auswertung“ beschrieben, wurde jedoch ein Bereich identifiziert, über den die bewiesene Zuführung von Kohlenwasserstoffgas vermutet wird. Mehrfachen Hinweisen bereits Monate vor den Versuchen am heutigen Tag an den Anlagenbetreiber, für einen transparenten, nachvollziehbaren und zugänglichen Anlagenaufbau zu sorgen, wurde nicht entsprochen.

c.) **Abgasmessverfahren.**

Bei dem Abgasmessverfahren handelt es sich um ein Standardverfahren, das seitens der messenden Person berufsbedingt wöchentlich in Gebrauch ist und zuverlässige Ergebnisse liefert. Die Ergebnisse werden durch die erhebliche Erfahrung der testenden Person untermauert. Hier sind Fehler unwahrscheinlich.

d.) **Leistungsbilanz Schweißnetzteil.**

Die Messung der Ausgangsleistung am Schweißnetzteil erweist sich im Verhältnis mit dessen Eingangsleistung als zu niedrig. Normal wäre ein Wirkungsgrad von 90 Prozent anstelle der gemessenen 30 Prozent. Ursächlich hierfür kann der Zustand und/ oder das Alter des Schweißnetzteils sein oder ein defektes Leistungsmessgerät. Da dieser Faktor auf das Resultat jedoch keinen Einfluss hat (siehe Abschnitt Resultat), wurde dies nicht mehr näher untersucht.

* * *

